Niveau(x) d'enseignement: 8 Numéro EDUQ : 8170779
Centre d'intérêt: 92

Opération sciences appliquées.

Niveau souhaitable de développement des programmes d'enseignement du 1er cycle de sciences appliquées / Opération sciences appliquées. -- [Québec?] : L'Opération, 1971.
25 f. : graph. ; 28 cm. -- (Etude particulière / Opération sciences appliquées ; 3)

Comprend du texte en anglais.

Cote Dewey: 620.00711'714/061n Cote LC: T/77/.Q3

Descripteur(s): *Programme d'enseignement *Analyse de coût *Rentabilité *Diplômé *Universitaire (Niveau)

Identificateur(s) de sujet: *Sciences appliquées *Génie

Le document vise à déterminer la capacité optimale de production annuelle de diplômés des programmes d'enseignement du premier cycle universitaire en sciences appliquées pour l'ensemble des universités du Québec regroupées selon leur appartenance à un groupe linguistique. Cette capacité optimale est déterminée à partir de l'examen des économies d'échelle qui pourraient être réalisées par l'augmentation de la production de diplômés des programmes existants. La méthodologie est exposée et quelques modèles sont analysés.

Il est suggéré que soit retenue la valeur de 40 diplômés par an comme minimum de la capacité optimale de production. Au double de cette valeur, il est pensable d'envisager l'implantation d'un nouveau programme, chacun ayant alors un nombre de diplômés suffisant pour assurer des coûts unitaires voisins du minimum. Cependant, étant donné qu'il y a peu à gagner à aller à un nombre aussi grand de diplômés, il semble prudent de choisir une limite supérieure de 60 diplômés par année afin de conserver une certaine capacité de réserve dans l'ensemble du système.

Type de document: r
Auteur de l'analyse: ar

NIVEAU SOUHAITABLE DE DÉVELOPPEMENT
DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT DU 1er CYCLE
DE SCIENCES APPLIQUÉES

Novembre 1971

E D U Q 8170779

Etude particulière no 3

NIVEAU SOUHAITABLE DE DEVELOPPEMENT DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT DU 1er CYCLE DE SCIENCES APPLIQUEES

Novembre 1971

Opération Sciences Appliquées

Table des matières

		Page
1. -	INTRODUCTION	1.
	1.1. But de l'étude - Détermination de capacité optimale de production	1.
	1.2. Critère d'optimalité - Economies d'échelle	1.
	1.3. Contraintes - Maintien des structures de programmes et des méthodes pédagogiques actuelles	1.
	1.4. Définition de l'optimum	1.
2. -	METHODOLOGIE	
	2.1. Choix de l'indice de productivité - Définition	2.
	2.1.1. Mesure de l'extrant	2.
	2.1.2. Mesure des coûts d'enseignement	2.
	2.2. Définition de l'indice de productivité	4.
3. -	ANALYSES - EVOLUTION DE L'INDICE DE PRODUCTIVITE EN FONCTION DU NOMBRE ANNUEL DE DIPLOMES	6.
	3.1. Analyse de modèles	6.
	3.1.1. Modèle I - Discussion sur le comportement de l'indice de productivité I	8.
	3.1.2. Modèle II - a) Discussion sur le comportement de l'indice de productivité I	10.
	Modèle II - b) Discussion sur le comportement de l'indice de coûts unitaires (par diplômé) Ic	14.
	3.2. Analyse de situations réelles	17.
4. -	CONCLUSION - PLAGE DE VALEURS DE CAPACITE OPTIMALES DE PRODUCTION	19.
5. -	REMARQUES	21.

Liste des planches et des annexes

		Page
Planches		
I	Définition des indices	5.
2	Indice de productivité (Programme - modèle I)	7.
3	Indice de productivité (Programme - modèle II)	9.
4	Indice de coûts	13.
5	Capacité de production (Diplômés par année au 1er cycle) Déclaration de l'institution	18.
6	Capacité de production (Diplômés au 1er cycle par année) Estimation O.S.A.	20.
Annexes		
I	Programme - Modèle I : Hypothèses de structures de programme	22.
II	Programme - Modèle II: Hypothèses de structures de programme	23.

1. - INTRODUCTION

1.1. But de l'étude - Détermination de capacité optimale de production:

Cet étude particulière vise à déterminer la capacité optimale de production annuelle de diplômés des programmes d'enseignement du premier cycle du secteur universitaire des sciences appliquées pour l'ensemble des universités du Québec regroupées selon leur appartenance à l'un ou l'autre des deux groupes linguistiques.

1.2. Critère d'optimalité - Economies d'échelle:

La capacité optimale de production sera déterminée à partir de l'examen des économies d'échelle qui pourraient être réalisées par l'augmentation de la production de diplômés des programmes d'enseignement existants.

1.3. Contraintes - Maintien des structures de programmes et des méthodes pédagogiques actuelles:

On ne cherchera pas à évaluer les coûts unitaires de production de chacun des programmes, ni à comparer ceux-ci sur ce plan, ni à proposer de changements de structures de programmes ou de méthodes pédagogiques pouvant conduire à des coûts unitaires plus bas, ces questions faisant l'objet d'autres études dans le cadre des travaux de l'Opération Sciences Appliquées.

1.4. Définition de l'optimum:

L'optimum de capacité de production d'un programme d'une institution donnée se situera sur une plage bornée à la limite inférieure par une valeur au-dessus de laquelle les économies d'échelle deviennent peu importantes et bornée à la limite supérieure par une valeur telle qu'on puisse envisager de dédoubler ce programme tout en conservant des coûts unitaires du même ordre de grandeur.

2. - METHODOLOGIE

Afin d'estimer les économies d'échelle qui pourraient résulter de l'augmentation de la production des programmes d'enseignement, on définit un indice de productivité qui exprime une mesure de l'extrant des programmes rapportée aux dépenses d'enseignement et l'on observe l'évolution de cet indice en fonction du nombre de diplômés produits.

2.1. Choix de l'indice de productivité - Définition:

Il est nécessaire de faire certains compromis entre la précision et la simplicité dans le choix des variables qui composent l'indice de productivité.

2.1.1. Mesure de l'extrant:

Idéalement, l'extrant d'un programme d'enseignement devrait exprimer la somme des connaissances et de la formation acquises par tous les diplômés issus annuellement de ce programme. On devrait également tenir compte de l'acquis des étudiants qui abandonnent avant la graduation. Cette variable n'est évidemment pas mesurable dans l'état actuel des connaissances. La présente étude utilise plutôt pour quantifier l'extrant deux variables directement accessibles: le nombre de crédits exigés pour l'obtention du grade et la production annuelle de diplômés du programme.

2.1.2. Mesure des coûts d'enseignement :

A l'heure actuelle, les systèmes budgétaires des universités du Québec ne permettent pas de connaître les coûts de fonctionnement et les coûts de capitaux imputables à chacun des programmes d'enseignement. L'une des sous-opérations actuellement en cours dans le cadre de l'O.S.A. a pour but l'évaluation de ces coûts. Les résultats de cette étude n'étant pas disponibles pour le moment, il devient nécessaire d'utiliser une variable directement mesurable qui soit un indicateur valable des coûts d'enseignement.

L'indicateur retenu est le nombre de crédits de cours dispensés. Cet indicateur présente à la fois des avantages et des inconvénients.

Avantages:

1 - Constitue une variable directement et facilement mesurable;

2 - Isole les coûts d'enseignement d'un programme d'enseignement donné:

a) des coûts indirects de recherche;

b) des coûts des autres programmes d'enseignement.

Inconvénients:

1 - Ne tient pas compte des coûts d'investissements;

2 - Ne tient pas compte des coûts associés aux fournitures et aux services qui ne constituent pas l'activité d'enseignement proprement dite comme l'administration, les services de bibliothèque, d'informatique, d'audio-visuel, l'entretien des bâtiments et des terrains, etc...;

3 - N'exprime pas le coût réel en dollars de l'enseignement, le coût du crédit dispensé étant influencé par la tâche du personnel enseignant, les catégories de personnels utilisés (professeurs, assistants, techniciens) et la rémunération de ceux-ci.

Ces inconvénients ne sont pas majeurs en regard des objectifs de la présente étude qui ne cherche pas à mesurer les coûts unitaires réels des programmes d'enseignement, mais vise plutôt à déterminer une capacité optimale de production de diplômés fondée sur la réalisation d'économies d'échelle.

Une importante étude (1) exécutée à l'Université de Bradford dans le cadre de travaux de l'O.C.D.E. et qui tenait compte de la totalité des dépenses imputables à programmes d'enseignement de sciences appliquées con-

(1) Costs and Potential Economies
Studies in Institutional Management in Higher Education
University of Bradford
O.E.C.D., Paris 1971.

duit à des conclusions sur les limites d'économies d'échelle et les capacités optimales de production qui sont suffisamment voisines de celles que contient le présent document pour que l'on soit rassuré sur la validité des approximations que contient l'indicateur choisi.

2.2. Définition de l'indice de productivité:

La définition de l'indice de productivité est donnée à la planche 1. On donne également à cette même planche la définition d'un deuxième indice, appelé indice de coûts et dérivé du premier, qui sera utilisé dans l'analyse d'un modèle de programme.

PLANCHE 1

DEFINITION DES INDICES

A - Indice de productivité

$$I \quad \frac{Np \times Dp}{Cp}$$

Np nombre de crédits exigés dans le cadre du programme p pour l'obtention du grade.

Dp nombre de diplômés produits par le programme p au cours de l'année x

Cp nombre de crédits dispensés dans le cadre du programme p au cours de l'année x; peut être pri en première approximation, comme étant directement lié aux coûts des ressources humaines affectées à l'enseignement.

B - Indice de coûts unitaires (par diplômé)

$$Ic \quad \frac{Cp}{Dp}$$

3. - ANALYSES - EVOLUTION DE L'INDICE DE PRODUCTIVITE EN FONCTION DU NOMBRE ANNUEL DE DIPLOMES

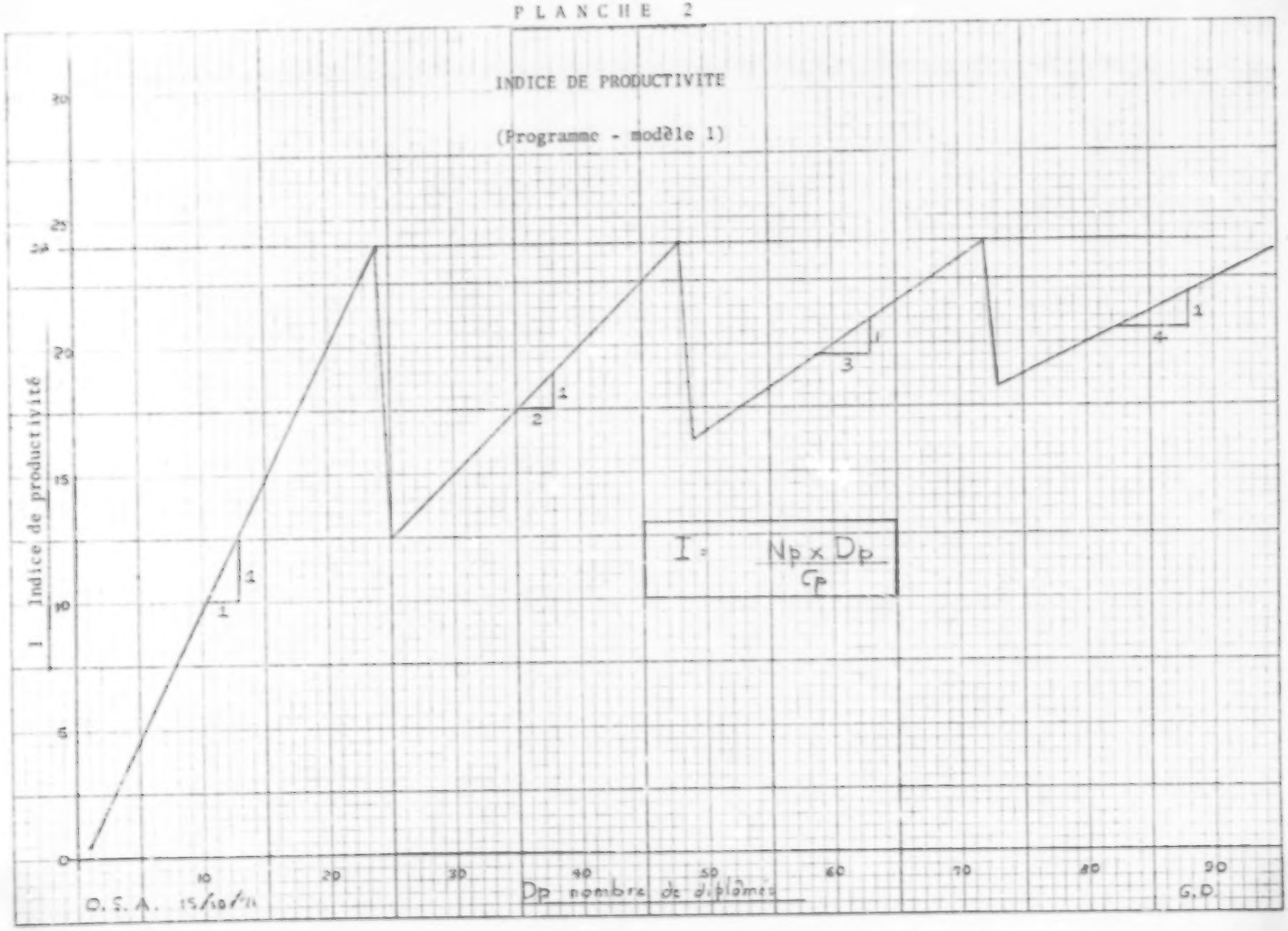
3.1. Analyse de modèles:

On examinera d'abord l'évolution de l'indice de productivité en fonction du nombre annuel de diplômés pour deux modèles de programmes d'enseignement.

Les hypothèses concernant les structures pédagogiques de ces modèles sont énumérées aux annexes I et II.

Les planches 2 et 3 illustrent l'évolution de l'indice de productivité pour chacun des deux modèles alors que la planche 4 présente le comportement de l'indice de coûts appliqué au modèle II seulement.

PLANCHE 2


INDICE DE PRODUCTIVITE
(Programme - modèle 1)
I Indice de productivité
Dp nombre de diplômes
G.D.
O.S.A. 15/10/11
I = Np x Dp / Cp
0
5
10
15
20
25
10
20
30
40
50
60
70
80
90
1
2
3
4

3.1.1. Modèle I

Discussion sur le comportement de l'indice de productivité I

Le modèle I représente un cas trivial. Il est en effet peu probable qu'aucun programme d'enseignement ne soit structuré de façon aussi simple et aussi rigide. L'analyse de ce modèle peut cependant être faite sans calculs fastidieux et l'on peut aisément dégager une interprétation de l'évolution générale de l'indice en fonction du nombre de diplômés et en particulier de son comportement aux limites (Dp petit et Dp très grand). Cet exercice sur un cas simple facilite la compréhension de situations plus complexes comme celle que décrit le modèle II.

Evolution de l'indice de productivité en fonction de l'augmentation du nombre des diplômés.

Tant que le nombre de diplômés n'a pas atteint la capacité d'accueil maximale des classes (24), le nombre de crédits dispensés est égal au nombre de crédits exigés.

Alors,

pour $1 \leq Dp \leq 24$
$I = Dp$

Lorsque le nombre de diplômés atteint 25, on subdivise toutes les classes en groupes de 12 et 13 étudiants ($12\frac{1}{2}$ en moyenne). L'indice évolue par la suite de la façon suivante jusqu'à ce que la capacité maximale des classes soit de nouveau atteinte:

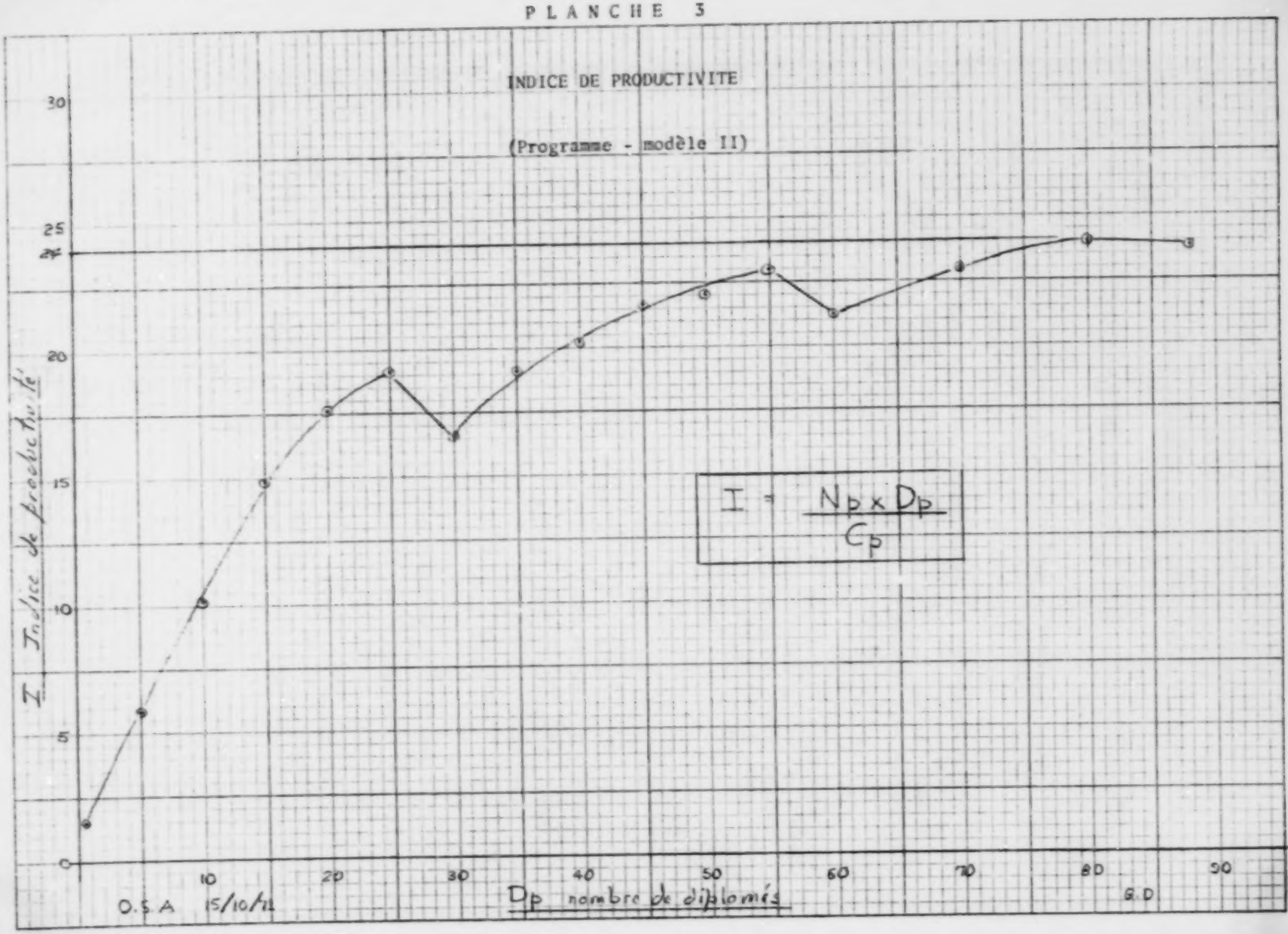
pour $24 < Dp \leq 48$
$I = \frac{1}{2}Dp$

On peut de la même façon prévoir le comportement de l'indice par la suite.

L'indice de productivité tend vers la valeur de la capacité maximale (24) d'accueil et présente des variations en forme dents de scie de période égale à cette capacité maximale et d'amplitude décroissant selon une progression arithmétique (1/2, 1/3, 1/4, etc.).

KE 10 X 10 TO THE INCH 46 0780
7 X 10 INCHES
KEUFFEL & ESSER CO.

PLANCHE 3



3.1.2. Modèle II

a) Discussion sur le comportement de l'indice de productivité I

Le modèle II décrit une situation beaucoup plus complexe que le modèle I. Cette structure pourrait fort bien se rencontrer dans la réalité.

Dans ce cas, comme dans le précédent, l'indice devrait subir une évolution linéaire entre les dédoublements de groupes. Cependant, ces dédoublements se produisent à diverses périodes en raison des différentes capacités d'accueil maximales choisies.

Périodes (exprimées en diplômés)

80/3
30/3
15/3

Cette division par 3 provient, de la présence d'un tronc commun à 3 programmes comptant le même nombre de diplômés.

30
10
8

30X3
8X3

Cette multiplication par 3 provient de la répartition en nombre égal des étudiants d'un programme entre 3 cours au choix.

A cause des multiples périodes et de l'accroissement du nombre de diplômés choisi ($\Delta Dp = 5$), les oscillations de l'indice de productivité se trouvent filtrées et présentent des amplitudes plus faibles. Demeurent vraiment perceptibles cependant les dents de scie de période 26.6 diplômés (80/3) en raison du poids en crédits attaché aux classes de 80 étudiants. Dans l'ensemble, la courbe $I = f(Dp)$ se comporte comme une exponentielle du type

$$I = A(1-E^{-kDp})$$

Pente à l'origine

La présence du tronc commun au trois programmes et l'imputation du tiers des crédits de ce tronc commun à chacun des programmes conduit à une pente à l'origine de 1.5

$$I = \frac{Np \times Dp}{Cp}$$

$$\frac{dI}{dDp} = \frac{120 \times 1}{\frac{60}{3} + 60} = 1.5$$

$$Dp = 1$$

Pour les trois programmes considérés comme un tout, la pente à l'origine serait égale à 1.

Asymptote finale.

Les valeurs obtenues pour l'indice I n'ont jamais dépassé 24 en supposant des grands nombres de diplômés (70, 80, 88, 100). On a donc pris ce nombre comme ordonnée de l'asymptote.

Autre méthode de calcul de l'indice I

Il est intéressant de noter qu'en utilisant l'interprétation tirée du cas trivial (modèle I), on pourrait calculer la valeur approchée de l'indice de productivité à partir du nombre moyen d'étudiants par classe.

Dp	$\frac{NpXDp}{Cp}$	Classe moyenne
5	5.9	6.2
15	14.9	16.9
35	19.1	21.8
80	24.0	24.0

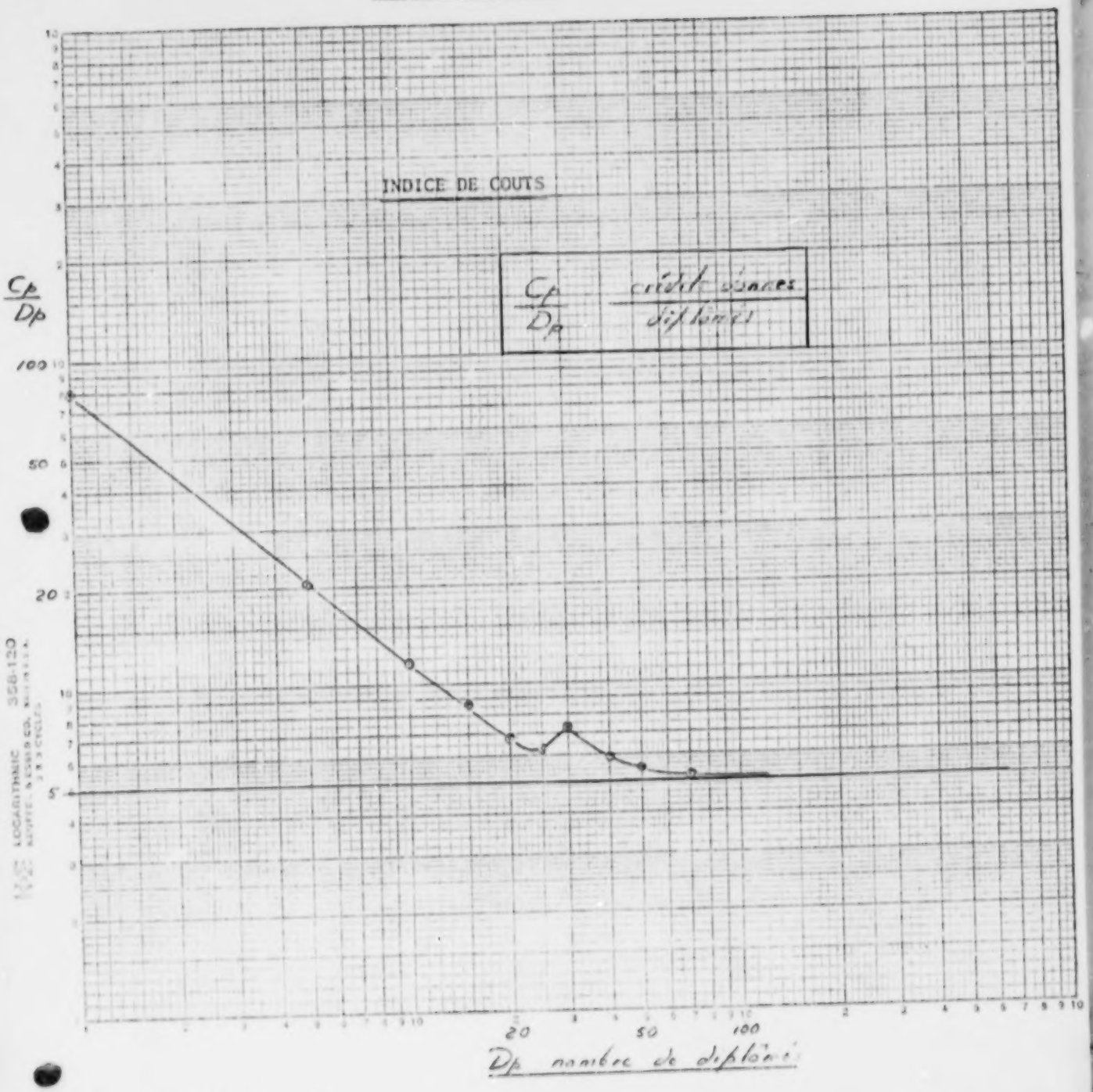
Cette dernière méthode est plus simple que la précédente lorsqu'il s'agit de calculer la valeur de l'indice pour une situation réelle donnée.

Indice de l'ensemble des trois programmes.

Pour obtenir l'indice de productivité de l'ensemble des 3 programmes pris comme un seul bloc, il suffit de faire un changement de l'échelle des abscisses ($Dp3_p$ = 3Dp) et de lire la valeur de l'indice sur l'ordonnée calculée pour un seul programme.

L'opération serait évidemment plus complexe si les 3 programmes ne produisaient pas le même nombre de diplômés.

PLANCHE 4


INDICE DE COUTS
Cp/Dp
crédit d'heures / différé
100
50
20
10
5
20
50
100
Dp nombre de différé

b) Discussion sur le comportement de l'indice de coûts unitaires (par diplômé) Ic

Sans donner le coût unitaire, cet indice est cependant directement lié à celui-ci.

Pour l'étalonner en dollars, il faudrait connaître la composition des divers personnels enseignants utilisés, faire l'analyse de leur tâche et connaître les traitements et salaires moyens de chacune des catégories de personnel.

L'indice Ic présente quand même de sérieux avantages sur d'autres indices comme le rapport étudiants-professeurs et les dépenses globales ou par fonctions divisées par le nombre d'étudiants.

- Il isole les dépenses d'enseignement d'un programme donné,
  - . des autres programmes d'enseignement,
  - . des dépenses indirectes de recherche,
  - . des dépenses d'administration et des dépenses des autres services généraux.
- Il respecte les structures de programme et les méthodes pédagogiques particulières à un programme donné.
- Il demeure relativement facile à calculer en regard de l'information qu'il apporte.

Exemples d'utilisation de l'indice de coûts unitaires:

L'indice de coûts unitaires peut servir à plusieurs fins. Les exemples qui suivent portent sur le programme de modèle II et sont tirés de l'analyse de la courbe de cet indice tracée en fonction du nombre de diplômés (planche 4).

1. Coûts d'implantation d'un nouveau programme

En lisant le nombre de crédits d'enseignement à dispenser pour 1 diplômé, on obtient une indication des ressources humaines nécessaires pour implanter un nouveau programme d'enseignement.

Cas analysé: 80 crédits.

2. Coûts marginaux de développement de programmes exprimés en termes de diplômés - Taille optimale.

Dans le cas étudié, les coûts varient peu entre 1 à 20 diplômés par année et les coûts unitaires décroissent proportionnellement au nombre de diplômés; au-delà de 60-70 diplômés par an, les coûts unitaires ne diminuent plus de façon sensible et les coûts globaux augmentent pratiquement en proportion du nombre de diplômés.

On peut conclure que pour le modèle étudié, la taille devrait se situer au-delà de 25 diplômés par année par programme (328 étudiants pour les 4 années et les 3 programmes).

D'autres considérations, comme l'utilisation efficace des espaces et des équipements, pourraient déterminer un autre minimum plus élevé que celui-ci.

Par ailleurs, d'autres éléments, tels la qualité humaine de l'environnement dans lequel les étudiants sont appelés à vivre, pourront fixer un maximum souhaitable.

3. Comparaison en termes de coûts unitaires de programmes de même taille (ou ayant atteint ou dépassé la taille optimale) mais ayant des structures ou des méthodes pédagogiques différentes.

4. Répartition optimale en termes de coûts unitaires des étudiants d'une discipline donnée entre les divers programmes offerts dans un territoire donné.

1ère hypothèse: tous les programmes doivent être maintenus.

On fait la répartition par tâtonnement en utilisant la courbe de l'indice Ic de façon à rendre minimale la fonction.

$F = Ic_1 \times Dp_1 + Ic_2 \times Dp_2 + \ldots + Ic_n \times Dp_n$

Ex.:	Dp_1 = 80	Ic_1 = 5.5		440
	Dp_2 = 5	Ic_2 = 20.5		102.5
	Dp_3 = 10	Ic_3 = 11.5		115
	95		ΣIcDp =	657.5

Solution possible:

Dp_1 = 25	Ic_1 = 6.1			152.5
Dp_2 = 25	Ic_2 = 6.1			152.5
Dp_3 = 45	Ic_3 = 5.6			252.0
95		ΣIcDp =		557.0

2è hypothèse: le programme p_2 peut être aboli.

Solution possible:

Dp_1 = 47	Ic_1 = 5.5			258.5
Dp_3 = 48	Ic_3 = 5.5			264.0
95		ΣIcDp =		522.5

3.2. Analyse de situations réelles:

Les doyens des facultés touchées par l'Opération Sciences Appliquées, ou leurs représentants délégués auprès de l'O.S.A., ont été invités à calculer l'indice de productivité pour chacun de leurs programmes du premier cycle en faisant un certain nombre d'hypothèses de croissance de la production de diplômés.

L'examen des résultats obtenus dans chacune des institutions amène les constatations suivantes:

1 - Le comportement général de l'indice de productivité est semblable à celui du modèle II, i.e.: qu'après une croissance rapide on atteint la saturation.

Dans un cas (Laval-Sciences), on n'a pas fait d'hypothèses de croissance suffisamment fortes pour qu'apparaisse la saturation bien qu'on reconnaisse qu'elle doit éventuellement se produire.

2 - L'asymptote horizontale vers laquelle tend l'indice est variable selon les programmes et les institutions. Les programmes ayant déjà une production élevée présentent un niveau de saturation de l'indice plus grand que celui que prévoient les institutions pour les programmes ne produisant qu'un petit nombre de diplômés par année. Les universités devant un afflux considérable d'étudiants acceptent donc de former de plus grosses classes lorsque les circonstances l'exigent.

3 - Les capacités optimales de production déclarées par les facultés ou déduites de leurs courbes de productivité sont toujours supérieures (sauf une exception à 25) à la capacité de 25 obtenue à partir de l'analyse du modèle II. Ces capacités sont rarement inférieures à 40 et rarement supérieures à 80. La planche 5 présente ces valeurs pour chacun des programmes de chacune des institutions.

PLANCHE 5

CAPACITE DE PRODUCTION
(Diplômés par année au 1er cycle)

Déclaration de l'institution

Institutions	Sous-secteur Génie									Autres sous-secteurs			
	G. chimique	G. civil	G. électrique	G. géologique	G. industriel	G. mécanique	G. métallurg	G. minier	G. physique	Agriculture	Foresterie	Géologie	Géodésie
Laval (1)	>62	>98	>100	>50		>81	>43	>51	>58	40	80	—*	55
Sherbrooke	25	40	40			40							
Polytechnique/Mtl (2)	65	65*	75*	55	65	65	55*	55	65			—	
U.Q.T.R (3)	40		40						40				
U.Q.A.C.	—	—	—	—		—	—						
U.Q.A.M.												—	
McGill (4)	45	50	105			80	30	30		—		45*	
S.G. Williams		50	50			40						45	

(1) > : aucune saturation apparente dans les données fournies par l'institution. La valeur indiquée est la plus élevée transmise.

* : capacité incluse avec génie géologique par la faculté

(2) * : ces valeurs sont tirées des courbes transmises par l'Ecole Polytechnique pour ces programmes. Elles ont été appliquées aux autres programmes à partir d'indications fournies par l'institution

(3) : nombre de diplômés correspondant au maximum de l'indice de productivité avant le premier dédoublement des groupes

(4) * : nombre égal à celui fourni pour l'information; indication donnée par la faculté

— : aucune donnée transmise

▨ : indique l'absence de programme

4. - CONCLUSION - PLAGE DE VALEURS DE CAPACITE OPTIMALES DE PRODUCTION

Les résultats obtenus dans les facultés suggèrent qu'on retienne la valeur de 40 diplômés par an comme minimum de la capacité optimale de production. Au double de cette valeur, soit 80 diplômés par an, il est pensable d'envisager l'implantation d'un nouveau programme, chacun des deux programmes ayant alors un nombre de diplômés suffisant pour assurer des coûts unitaires voisins du minimum. On retient donc la valeur de 80 comme maximum de la capacité optimale de production. Cependant, étant donné qu'il y a peu à gagner en termes d'économies d'échelle à aller à un nombre aussi grand de diplômés, il semble prudent de choisir une limite supérieure de 60 diplômés par année afin de conserver une certaine capacité de réserve dans l'ensemble du système.

La planche 6 reprend le tableau de la planche 5 avec les valeurs de capacité de production proposées. Les nombres inférieurs à 40 ont été majorés à cette valeur; les capacités supérieures à 60 ont été ramenées à ce nombre; les valeurs intermédiaires ont été conservées après avoir été arrondies à 5 diplômés près. Le tableau de la planche 6 présente également les sommes par secteur linguistique des capacités optimales de production de tous les programmes québécois de même spécialité, ainsi que les sommes par institution de tous les programmes qui constituent le sous-secteur génie.

PLANCHE 6

CAPACITE DE PRODUCTION
(Diplômés de 1er cycle par année)

Estimation O.S.A.

Institutions (3)	Sous-secteur Génie (1)										Autres sous-secteurs (2)			
	G. chimique	G. civil	G. électrique	G. géologique	G. industriel	G. mécanique	G. métallurg	G. minier	G. physique	Total Génie	Agriculture	Foresterie	Géologie	Géodésie
Laval	60	60	60	60	/	60	45	55	60	460	40	80	(4) *	55
Sherbrooke (5)	70	70	70	/	/	70	/	/	/	280	/	/	/	/
Polytech/Mtl	60	60	60	55	60	60	55	55	60	525	/	/	40 *	/
U.Q.T.R.	40	/	40	/	/	/	/	/	40	120	/	/	/	/
U.Q.A.C.	40 *	40 *	40 *	40 *	/	40 *	40 *	/	/	240	/	/	/	/
U.Q.A.M.	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	/	/	40 *	/
Total francophone	270	230	270	155	60	230	140	110	160	1625	40	80	80	55
McGill	45	50	60	/	/	60	40	40	/	295	— *	/	45	/
S.G.Williams	/	50	50	/	/	40	/	/	/	140	/	/	45	/
Total Anglophone	45	100	110	/	/	100	40	40	/	435	—	/	90	/

(1) Le programme de génie médical n'est pas inclus; il existe à l'U.Q.T.R. seulement et n'a pas encore produit de diplomés.

(2) Les programmes d'informatique sont exlcus, étant de date récente et de nature multidisciplinaire

(3) Les valeurs inférieures à 40 ont été majorées à ce nombre; les capacités supérieures à 60 ont été ramenées à cette valeur, sauf pour le programme unique de foresterie. Les valeurs intermédiaires entre 40 et 60 ont été arrondies à 5 près.

(4) Capacité incluse dans la valeur pour génie géologique

(5) Capacité calculée selon 1.75 x (valeur minimale de 40) à cause du dédoublement requis par le système coopératif

* Indique aucune donnée transmise; la limite inféricure de capacité est utilisée

— Indique aucune estimation faite pour la capacité

/ Indique l'absence de programme

5. - REMARQUES

Il est intéressant de noter qu'une étude effectuée par Frederick E. Terman (2) sur les relations entre la taille des écoles d'ingénieurs et les coûts d'enseignement l'on amené à affirmer: "The minimum size required for an economically officient undergraduate engineering program (involuing three or four principal majors, e.g. Civil, Electrical, Industrial and Mechanical Engineering) is ordinarily 140-150 B.S. degrees per year. As the B.S. output falls significantly below 140, instruction costs rise, the program tends to be less attractive, and the quality normally declines". "At the same time, little if any cost advantage is ordinarily associated with outputs greater than about 225 B.S. per year unless an unusually large nomber of majors is involued".

On retrouve sensiblement la plage de valeurs (40-60) de capacités optimales de production adoptée par l'Opération Sciences Appliquées.

---

(2) Economic Factors Relating to Engineering Programs
Frederick E. Terman, Provost Emeritus and former Dean of Engineering
Stanford University
Journal of Engineering Education, February 1969, pp. 510-514

A N N E X E I

PROGRAMME - MODELE I

HYPOTHESES DE STRUCTURES DE PROGRAMME

1 - Programme de 90 crédits

2 - Taux de déperdition : nul

3 - Toutes les classes pour des raisons d'espace physique ou de méthodes pédagogiques ont une capacité d'accueil maximale de 24 étudiants

4 - Lorsque le nombre des étudiants atteint la capacité maximale + 1 (25), on crée une nouvelle section en répartissant également les étudiants entre les sections

5 - Il n'y a aucun recoupement de cours entre ce programme et d'autres programmes

6 - Tous les cours sont obligatoires. Il n'y a pas d'options ou de cours au choix

ANNEXE II

PROGRAMME - MODELE II

HYPOTHESES DE STRUCTURES DE PROGRAMME

1 - Le modèle simule 3 programmes d'une durée de 4 ans et de 120 crédits chacun

2 - Chaque année du programme comporte 30 crédits

3 - Les 2 premières années constituent un tronc commun aux 3 programmes; il n'y a aucun cours commun aux 3 programmes par la suite

4 - Tous les cours comptent pour 3 crédits chacun

5 - Chacun des programmes produit le même nombre de diplômés

6 - Les taux de déperdition sont les suivants:

- 1ère année à la fin des études - 20%
- 2è année à la fin des études - 10%
- 3è année à la fin des études - 5%
- 4è année à la fin des études - 2%

7 - Le tiers des crédits dispensés pendant les années du tronc commun est imputé à chacun des programmes

8 - Les 2 premières années sont structurées de façon identique:

- la moitié des crédits porte sur des cours sans laboratoire

  Dans ce cas, la capacité d'accueil maximale des enseignements magistraux est de 80 étudiants par section (10 crédits).

  Ces groupes d'étudiants sont subdivisés en petites classes de discussion d'une capacité maximale de 30 (5 crédits).

- l'autre moitié des crédits porte sur des cours avec laboratoire.

PROGRAMME - MODELE II (suite 1)

HYPOTHESES DE STRUCTURES DE PROGRAMME

Dans ce cas, les enseignements magistraux sont structurés de la même façon; il n'y a cependant pas de petites classes de discussion. La capacité d'accueil maximale des groupes de laboratoire est de 15 étudiants.

9 - La 3è année est structurée de la façon suivante:

- la moitié des crédits porte sur des cours sans laboratoire, l'autre moitié sur des cours avec laboratoire;
- il n'y a que des petites classes d'une capacité d'accueil maximale de 30 étudiants pour les enseignements théoriques;
- les groupes de laboratoire ont une capacité d'accueil maximale de 10 étudiants;
- il y a 15 crédits de cours sans laboratoire. La partie théorique des cours avec laboratoire compte pour 10 crédits et les laboratoires eux-mêmes pour 5 crédits.

10 - La 4è année est structurée de la façon suivante:

- il y a 21 crédits de cours imposés et 9 crédits de cours au choix de l'étudiant;
- dans le cas des cours imposés, il y a 9 crédits de cours sans laboratoire et 12 crédits de cours avec laboratoire. Les laboratoires comptent pour 4 crédits.
- les étudiants doivent prendre 2 cours parmi les 6 cours sans laboratoire et 1 cours parmi les 3 cours avec laboratoire offerts dans le cadre des cours au choix;

PROGRAMME - MODELE II (suite 2)

HYPOTHESES DE STRUCTURES DE PROGRAMME

- les étudiants des programmes se répartissent également entre les divers cours au choix;
- la capacité d'accueil maximale des classes est de 30 étudiants et celle des groupes de laboratoire est de 8 étudiants.

11 - Le modèle est stationnaire en ce sens qu'il décrit différents états stationnaires de la production (nombre de diplômés) en supposant qu'il n'y a pas de croissance continue des clientèles à l'entrée.

Economic Factors Relating to Engineering Programs

FREDERICK E. TERMAN, Provost Emeritus and former Dean of Engineering, Stanford University

ENGINEERING is almost unique among academic disciplines involving instruction at undergraduate level, in that nearly all students enrolled in engineering courses are engineering majors, and that nearly all of these courses are at sophomore or higher level. This differs from fields such as physics, mathematics, economics, etc., where a substantial number of all credit hours resulting from instruction in the discipline are awarded in elementary courses with very large enrollments in which most of the students are nonmajors. Another special characteristic of engineering is that practically every student who receives a bachelor's degree in engineering had engineering seriously in mind as a career objective even before graduating from high school.

In this study, these and other features of engineering are exploited to gain new insight relative to the supply of engineers, to establish the minimum economic size of undergraduate and graduate engineering programs, to provide a meaningful index of instruction costs, and to define faculty productivity. The material presented here is based upon techniques developed in studying the educational operation at Stanford, supplemented by experience gained on surveys of engineering programs of several state systems. Further input has been obtained through the voluntary cooperation of a number of engineering schools whose contribution to this study is hereby acknowledged.

Supply of Undergraduates in Engineering

For many years, the number of men receiving bachelor's degrees in engineering has fluctuated between one-sixth and one-ninth of the total number of men awarded the baccalaureate degree in all fields (see Fig. 1). At the present time, slightly more than one-ninth of the men who receive baccalaureate degrees do so in engineering, and it is probable that this fraction will drop a little in the years immediately ahead.

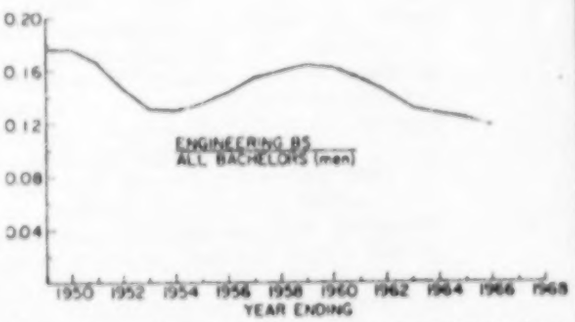


Figure 1. Engineering graduates as a fraction of male bachelor's degree recipients.

The incidence of engineers among male college graduates is surprisingly uniform over the entire country. When large geographical areas are involved, Table 1 shows that even when the areas differ greatly in their characteristics, the incidence of engineers departs by less than ±20% from the national average. This implies that the supply of undergraduate engineering students available to the universities is severely limited, and is also amazingly little affected by the need for engineers, by the number of engineering schools in an area, by the salaries received by young engineers, or by exposure to engineering and industrial activities during the precollege period.

Critical Size in Engineering Programs

In order to be able to deploy its teaching resources effectively, an undergraduate engineering program

TABLE 1

Geographical Distribution of Interest in Engineering Among College Graduates, 1965-66

Region	Engineering B. S. All fields (%)	Index
Entire U.S.	0.119	100
Six Largest States		
California	0.120	101
New York	0.124	103
Pennsylvania	0.129	108
Illinois	0.106	89
Texas	0.106	89
Ohio	0.111	93
Geographical Areas		
(a) New England	0.119	100
(b) Great Lakes	0.128	108
(c) Mountain	0.138	116
(d) South	0.116	98
(e) Plains	0.095	80

(a) Me., N.H., Vt., Mass., R.I., Conn.
(b) Minn., Wisc., Ill., Ind., Ohio, Mich.
(c) Idaho, Mont., Nev., Utah, Colo., Ariz., N. Mex., Wyo.
(d) La., Miss., Ala., Ga., S. C.
(e) N. Dak., S. Dak., Nebr., Ia., Kans.

should ideally graduate at least 40-50 B.S. recipients per year *in each major*. When this is the case, the courses which are required of all majors in a particular field but seldom taken by non-majors can either be given in one large section of 40-50 students, or in two smaller sections each of 20-25 students. At the same time, elective courses in the major taken by some, but not all, of the majors will enroll typically 15-30 students. In this situation, the average class size is easily maintained at a reasonable level, and flexibility is available in the use of the teaching staff.

This reasoning leads to the conclusion that the minimum economic size for an undergraduate program in engineering involving three or four principal majors (e.g., Civil, Electrical, Industrial, and Mechanical Engineering) is an output of 140-150 B.S. degrees per year. As the size of such an undergraduate engineering program falls significantly below this minimum economic size, the instruction cost per student credit hour can be expected to rise. Quantitative data supporting this deduction will be given later.

At the graduate level an analogous situation exists. The graduate-level engineering courses in the major field that an M.S. engineering student includes in his study program are usually taken only by majors in that field. Moreover, most of these graduate courses are elective. The result is that unless 40-50 master's degrees are awarded annually in a given major, many of the graduate classes in that major will be undesirably small, and therefore will represent high-cost instruction. The situation becomes particularly serious if the number of M.S. degrees awarded in the major is less than 20-25; then nearly all graduate courses in the major specialty will have quite small enrollments. It thus follows that when an institution offers 3 or 4 principal majors in its M.S. engineering program, a total output of approximately 125-150 master's degrees per year will be required as a minimum if the instruction cost per student credit hour in the M.S. program is not to be excessive.

The Instruction Cost Index

A practical measure of instruction cost is the "direct instruction cost per student credit hour" or *instruction cost index*. In this ratio, the numerator (i.e., the "direct instruction cost") is the total teaching payroll of the educational unit involved in the calculation, including regular faculty, lecturers, visiting faculty, and teaching and laboratory assistants. The denominator (i.e., the "student credit hours") is the product of units and enrollment for the associated instruction. Thus, a 3-unit course in which 24 students are enrolled contributes 72 student credit hours to the denominator.

In determining the instruction cost index, appropriate adjustments must be made for faculty members who teach in more than one department and for faculty members whose salaries are split between two or more sources. The basic principle is that the salary total in the numerator pays for the credit hours of instruction in the denominator. In calculating the instruction cost index, certain ground rules are necessary. The most important of those used by the author is to charge faculty time spent on school administration against instruction, but to exclude from the teaching payroll any faculty time charged against externally sponsored research.

The usefulness of the direct instruction cost per student credit hour arises because: 1. It involves only data that are readily available; 2. It deals with the very heart of the educational process, the teaching function; and 3. It is the largest single component of direct cost in an educational operation. This index thus focuses attention on where the money is going and on what is being obtained in return.

When simple instructions are followed, the instruction cost index means essentially the same thing at different institutions. This index is thus useful in comparing costs at institutions of similar character and in determining the effect on instruction cost of such factors as the size of the engineering program.

At the same time, the instruction cost index has limitations. In particular, it makes no distinction between undergraduate and graduate level instruction; all student credit hours are weighted equally whether at freshman or doctorate level. Care must therefore be used in making comparisons of the instruction cost index of institutions that are markedly different in character.

Effect of Size on Instruction Costs

Data on instruction cost per student credit hour confirm the fact that there is a minimum size below which instruction costs rise. Thus, the four University of California campuses in Part A of Table 2[1] have the same faculty salary scales, teaching loads, and patterns of operation, but differ in the size of their engineering programs. The small engineering operations *c* and *d* have much higher instruction cost indices than do the larger operations *a* and *b*. This is in spite of the fact that these latter engineering programs involve a higher proportion of supposedly expensive graduate work,

[1]The data in Table 2 (Parts A and B) are from the report *A Study of Engineering Education in California*, by F. E. Terman, prepared for the California Coordinating Council for Higher Education and made public in May 1968.

TABLE 2
Examples of Instruction Cost Index, 1966-67
(In semester units)

Institutions	Instruction Cost Index	Quality Grad. Programs	Size B.S.	Size M.S.	Size Ph.D.
A. University of California campuses					
a.	565	4	4+	4+	4+
b.	56	3	3+	4	3+
c.	76	2–	2	2	2
d.	89	1	1	1	—
B. California State College campuses					
e.	534	1	4	—	—
f.	35	1	3	2	—
g.	41	1	1	—	—
h.	43	1	1	—	—
i.	59	1	1	—	—
C. Representative Institutions					
1.	$48	4	3–	4	4
2.	38	4	4+	4	4
3.	78	4	2+	3–	4
4.	51	4	4+	4	4
5.	62	4	4	3	4–
6.	37	3	3	3	3+
7.	117	4	1	2+	3+
8.	43	3	3	3–	3
9.	33	3–	4	3	3
10.	35	3	4–	2	2+
11.	49	2	2	2	2–
12.	86	1+	1	1	2
13.	51	2–	2	1	2
14.	43	1	4	3–	—
15.	54	1	1	—	—
16.	75	1	1	1	—
17.	57	1	2	1	1

D. Codes

Code for quality of graduate program	Code for size	Actual degrees/yr. B.S.	Actual degrees/yr. M.S.	Actual degrees/yr. Ph.D.
4 = Top 15 engineering schools	4	250–	200–	50–
3 = Top 30+ (but not top 15)	3	140-249	100-199	25-49
2 = Some national visibility	2	75-139	50-99	10-24
1 = No national visibility	1	1-74	1-49	1-9

make available to the student a wider variety of courses at both undergraduate and graduate levels, and likewise are considerably more prestigious.

Another comparison of similar schools is made in Part B of Table 2. The different California State Colleges all have the same policies as to faculty qualifications and salaries, teaching loads, lack of intensive involvement in research, and even the same staffing formulas. Here again, within a homogeneous system, but one quite different from that of Part A, the instruction cost index rises when B.S. output falls below about 140 degrees per year.

Part C of Table 2[4] gives data on engineering instruction cost indices for a representative sample of additional institutions scattered over the entire U.S.A.

[4]The author has collected data on about 100 institutions, including three-fourths of all the engineering schools mentioned in Allan Cartter's *An Assessment of Quality in Graduate Education*, American Council on Education, 1966. The complete tabulation, representing an expanded Table 2, will be sent to those requesting it.

Again, the tendency for small operations to be high-cost operations is very striking. Thus institution No. 15, which for 20 years has operated an undistinguished purely undergraduate program that confers about 35 B.S. engineering degrees per year distributed over three majors, has a higher instruction cost index than a number of the very prestigious schools with large graduate programs.

Theoretical Values of Instruction Cost Index. It is interesting to compare data on actual institutions, with theoretical values of the instruction cost index calculated for individual professors in hypothetical situations. Examples of such calculations are given in Table 3 and are seen to bracket the range of values appearing in Table 2. *They show that the combination of an excellent salary, a very light teaching load with half time charged to research, and moderately large class size results in an instruction cost index not greatly different from that associated with a heavy teaching load, no research, and classes that average 15 students.*

TABLE 3
Theoretical Values of Instruction Cost Index

Criterion	Average Class Size 33	Average Class Size 15
Faculty salary = $18,000		
3 units/sem. + 50% charged to research	$45.45	$100.00
6 units/sem. no charge to research	$45.45	$100.00
Faculty salary = $14,000		
12 units/sem. no charge to research	$17.68	$38.89
9 units/sem. no charge to research	$23.57	$51.85

Formula:

$$\text{Instruction cost index} = \frac{\text{Salary from teaching funds}}{\text{Nteach. load per sem.} \times \text{(avg. class size)}}$$

Instruction Cost of Graduate Work

The common impression that graduate engineering instruction is expensive compared with undergraduate instruction is not necessarily true. *If the graduate program has an adequate number of students,* as defined above, graduate classes can be about the same size as undergraduate classes. The direct instruction cost per student credit hour will then be about the same for graduate as for undergraduate engineering instruction, except as graduate courses are given extra weight when assigning teaching duties, and except when graduate courses are monopolized by the senior and hence higher salaried members of the faculty. While some will contend that graduate classes should be systematically smaller than undergraduate classes, there is no evidence to indicate that graduate engineering students require smaller classes in order to be able to learn than do undergraduate students in the same departments.

Master's Programs. When the M.S. degree in engineering is awarded without a thesis[5], the instruction

[5]At schools offering the Ph.D. degree, there is an increasing tendency to drop the M.S. thesis and concentrate student-faculty research at the doctoral level.

cost index of the M.S. program approximates that associated with graduate courses. As previously explained, this need not be very much greater than for undergraduate instruction.

Doctoral Programs. In doctoral work, no close relationship exists between the instruction cost index and size, such as is present in M.S. and B.S. programs. To the extent that doctoral candidates in engineering register for further classwork after completing the M.S. degree, they typically select additional M.S. level courses in their major field together with courses designed for advanced undergraduate and beginning graduate students in nonengineering fields such as physics, mathematics, etc. Thus, *the formal classroom instruction of Ph.D. students does not represent an important cost factor, provided a comprehensive M.S. program of adequate size exists.*

The expenses of the faculty-student research activity associated with Ph.D. programs in engineering are not ordinarily a major factor affecting the instruction cost index. Most doctoral research in engineering is supported by grants and contracts. Such funds pay direct expenses and, in addition, provide an overhead allowance. At most engineering schools, the time that faculty members devote to research and to the supervision of student research is also covered at least in part by a direct charge against the extramural research funds.

Is Graduate Work Expensive? The above reasoning leads to the conclusion that graduate work, including Ph.D. work, need not be unduly expensive, provided there are enough graduate students to populate adequately the organized courses at graduate level, and provided there are adequate extramural funds to support the research programs. This view is supported in various ways by instruction cost data. Thus, inspection of Table 2 shows that the prestigious large engineering schools with large graduate programs have instruction cost indices that are frequently lower than the indices for *small* undistinguished programs that are largely or purely undergraduate.

The Supply of Graduate Students

Most graduate students in engineering require some form of financial assistance. This leads to two main categories of graduate students. First is the *full-time-on-campus* graduate student who typically has a fellowship, traineeship, assistantship, or a working wife, and devotes most or all of his time and energies to activities centered on the campus. The number of students in this category is determined primarily by the support funds available, and more graduate students of adequate ability desire to enroll in full-time-on-campus programs than can be supported.

The second type of graduate engineering student holds a full-time or nearly full-time engineering position in an industrial concern and enrolls for a less-than-half-time program of study. These *part-time-on-campus* students are characterized by having a primary responsibility to an off-campus employer. Their number depends on the extent to which attractive and appropriately scheduled courses are available near places where young engineers are employed.

TABLE 4

Support for Engineering Research and Graduate Students 1966-67
(All schools with 40 or more Ph.D.'s in engineering)

Institution	Sponsored Research	Approx. No. Appts.	No. of Ph.D. Degrees	Dollars per Ph.D.	Appts. per Ph.D.
Cal. Inst. Tech.	$2,522K	331	41	$62K	8
Calif. (Berk.)	6,794K	631	132	52K	5
Calif. (L.A.)	2,429K	202	46	53K	4
Carnegie-Mel.	1,943K	209	54	36K	4
Case West. Res.	1,617K	183	45	36K	4
Columbia	2,554K	224	43	59K	5
Cornell	4,195K	500	70	60K	7
Illinois	13,187K	800+	116	114K	7
Iowa State	3,652K	197	57	64K	3
Mass. Inst. Tech.	12,960K	1,055	185	70K	6
Michigan	10,959K	650+	105	104K	6
Minnesota	3,379K	400	48	70K	10
Northwestern	4,323K	419	77	56K	5
Ohio State	5,073K	267	59	86K	5
Oklahoma St.	1,268K	171	58	22K	3
Pennsylvania	5,530K	461	49	113K	9
Poly. Inst. Brk.	2,586K	355	48	54K	7
Purdue	4,407K	665	73	60K	9
Rensselaer	2,431K	233	49	50K	5
Stanford	12,165K	877	143	85K	5
Texas	3,634K	464	66	55K	7
Wisconsin	3,081K	467	51	60K	9

Source: *Annual Directory of Engineering College Research and Graduate Study, 1966-67* (ASEE).

It cannot be stressed too strongly that since nearly all graduate study in engineering is based upon the availability of some form of financial support for the student, the *expansion of graduate work at a particular institution can take place only to the extent that support for graduate students grows.*

Students for Ph.D. Programs. Ph.D. candidates are largely full-time-on-campus students. As a consequence, the size of the Ph.D. program on a particular campus is in large measure controlled by the number of appointments available for graduate students and by the grant and contract funds available to support the faculty-student research. Table 4 shows that for each Ph.D. produced per year in engineering there are typically an annual sponsored research expenditure of $50-80,000 and 5-8 student appointments. These numbers define in a general way what is required to expand a doctoral program in engineering.

Size Versus Quality

The preceding sections have demonstrated that as the size of undergraduate and graduate engineering programs decreases, a point is reached at which the instruction costs tend to rise. In addition, small programs can offer the student only a limited choice of elective courses and have a quality disadvantage because with a small faculty, each staff member must teach an undesirably wide assortment of topics.

This line of reasoning leads to the conclusion that an engineering school awarding 50-75 (or fewer) B.S. degrees per year is seldom a satisfactory operation; it is usually more expensive, has poorer quality, and is less attractive to students than is a larger operation. At the same time, little if any cost advantage is ordinarily associated with outputs greater than about 225 B.S. and 200 M.S. degrees per year unless an unusually large number of majors is involved.

Faculty Productivity

Faculty *productivity* is a more meaningful criterion for determining the contribution that a faculty member makes to the engineering program than is teaching load. While teaching load is a valid measure of the burden of work placed on the faculty member in connection with classroom teaching, it does not measure the quantity of instruction "produced" as a result of this burden.

In teaching, productivity means student credit hours per faculty member. High productivity without sacrifice in quality can be achieved by avoiding undesirably small classes and by allowing very skillful and effective teachers to be exposed to larger-than-average classes, while giving such teachers adequate backup help in the form of student assistants and secretarial support.

In a doctoral program, productivity is measured in terms of the number of doctor's degrees awarded per faculty member per year. A group of faculty members with uniformly high research abilities and adequate research funds has the capability of turning out at least one Ph.D. per faculty member per year. This goal is reached by a small number of engineering departments in the country and by at least one entire school of engineering. However, the average at most institutions is much lower. It would appear that there currently exists much unused potential for training doctorate engineers.

Are Too Many Schools Offering Engineering?

A large majority of the engineering programs in the country are underpopulated with students, particularly at the graduate level. Thus, Table 5 shows that of the institutions having ECPD-accredited curricula in 1965-66, only half of those awarding the B.S., and only a fifth of those institutions offering the M.S. achieved the minimum level of activity required for economic operation as defined above.

TABLE 5

Schools Meeting Minimum Size Criteria, 1965-66

Type of School	B.S.	M.S.
Schools offering degree (with ECPD-accredited curricula)	179	156
Institutions of min. economic size (UG = 140+, Gr = 125+)		
No. schools meeting this criterion	81	30
These schools as % of all offering degree	47%	19%
Degrees from these schools as % of all degrees	77%	59%

Note: Basic data from *Final Report: Goals of Engineering Education*, 1968 (ASEE).

At undergraduate level there are simply not enough students with the requisite ability and the desire to study engineering to go around. This situation can be expected to persist for many years to come, since it appears that undergraduate engineering enrollment will move upward only slowly. At the same time, new engineering schools are being opened every year, while very, very few close their doors.

At the graduate level, the situation is even more difficult and complex. Only a fraction of undergraduate students go on for graduate work. As a result the nation can support fewer graduate engineering schools than undergraduate schools, yet virtually every undergraduate program is planning to expand into graduate work.

It is clear that there are more institutions offering engineering than are now needed by the country. In the competition for survival generated by such a situation, engineering schools that award 150 to 250 or more B.S. degrees and 100 or more M.S. degrees per year will have advantages over institutions that fail to meet these levels of operation. It is clear that at least a quarter of the institutions now offering the B.S. in engineering face very difficult times during the next decade.

Summary and Conclusions

The minimum size required for an economically efficient undergraduate engineering program is ordinarily 140-150 B.S. degrees per year. As the B.S. output falls significantly below 140, instruction costs rise, the program tends to be less attractive, and the quality normally declines. Programs that produce 50-75 or fewer B.S. degrees have many disadvantages and few redeeming features.

The supply of undergraduate engineering students is limited and is not large enough to go around. As a result, about half of the institutions with ECPD-accredited curricula awarding B.S. degrees in engineering now have fewer students than required for an economically efficient operation.

The common impression that graduate work in engineering is inherently very much more expensive than undergraduate instruction is not true, *provided the graduate program has an adequate number of students.* Under typical circumstances, it takes about 125 or more M.S. degrees per year to achieve an economically efficient operation. Less than a fourth of the engineering schools offering the M.S. degree meet this goal. Doctoral activity does not increase the direct instruction cost per student credit hour significantly if there is a large and diversified M.S. program and if adequate research grants and contracts are available to finance student-faculty research.

The supply of full-time-on-campus graduate students in engineering at any one school is controlled by the number of appointments available as trainees, fellows, assistants, etc. The part-time-on-campus graduate enrollment is determined by the number of engineers employed in nearby industry who wish to study as part-time-on-campus students. Doctoral students are generally full-time-on-campus students, and experience shows that Ph.D. output is closely related to research expenditures and available appointments.

Faculty productivity is as important a factor in planning an engineering program as is teaching load. Faculty productivity in teaching is measured in terms of student credit hours per faculty member. Faculty productivity in a Ph.D. program can be expressed in Ph.D.'s per faculty member per year.

More institutions are now offering undergraduate and graduate work in engineering than are needed. △